
Sektion 4: Biodiversität

Session 4: Biodiversity

Unkräuter im Mais - Veränderung der Eigenschaften der Unkrautzusammensetzung durch Bodenbearbeitung und Fruchtfolge

Weeds in maize - variation in species trait assembly through soil cultivation and crop rotation

Heike Pannwitt^{1*}, Christoph Krato², Bärbel Gerowitt¹

¹ Professur Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Deutschland

² Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland

*Korrespondierende Autorin, heike.pannwitt@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.028



Zusammenfassung

Mais ist die zweitwichtigste Kulturpflanze in Deutschland. Die genutzten Anbauverfahren im Mais variieren zunehmend, sodass neben der klassisch wendenden Bodenbearbeitung, vermehrt die nicht-wendende Bodenbearbeitung genutzt wird. Mais wird zudem als Teil einer Fruchtfolge oder in Selbstfolge angebaut. Die Folgen des veränderten Managements auf die Eigenschaften der Unkrautarten sind unklar. Es wird jedoch angenommen, dass ein entsprechendes Management mit bestimmten Unkrauteigenschaften assoziiert ist. Die wendende Bodenbearbeitung begünstigt scheinbar konkurrenzstarke Unkrauteigenschaften als die nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Weiterhin wird vermutet, dass konkurrenzstarke Eigenschaften eher durch den Anbau von Mais in Selbstfolge als durch den Anbau in Rotation gefördert werden. Dies wurde mit Hilfe einer modernen RLQ-Analyse getestet. Als Datengrundlage für diese Analyse wurden Feld- und Unkrautdaten aus einem deutschlandweiten Unkrautmonitoring im Mais 2017 und 2018 sowie ein Datensatz zu Unkrauteigenschaften (Raunkiaer Lebensformen, Lebenszyklus, Leaf-Height-Seed Strategien, Phenology, Klassische Verwandtschaftsgruppen der Unkräuter sowie deren Neigung Herbizidresistenzen zu bilden) aus anderen Studien zusammengestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass unabhängig vom Management im Mais, konkurrenzstarke Unkrauteigenschaften, wie Therophyten, Arten mit hoher Affinität zu nährstoffreichen Böden, große Blattflächen, hohe Pflanzenhöhe und ein schweres Samengewicht vorkommen können. Managementfaktoren können jedoch die Gruppierung bestimmter Unkrauteigenschaften fördern. So werden, entgegen der Annahme, konkurrenzstarke Unkrauteigenschaften eher der nicht-wendenden als der wendenden Bodenbearbeitung zugeordnet. Wie erwartet, kann der Anbau von Mais in Selbstfolge eine Anpassung der Unkrautarten an die Bedingungen im Mais fördern.

Stichwörter: Mais, RLQ-Analyse, Unkrauteigenschaften

Abstract

Maize is the second most important weed in Germany. Maize cultivation varies between conventional tillage and reduced tillage and cultivation of maize in crop sequences or continuous maize. The effect of the management on the weed traits is unknown. Association of weed traits to the management, however, are likely. We expect that conventional tillage is more associated to competitive weed traits than to reduced tillage. Furthermore, cultivation of continuous maize in contrast to crop rotation leads to a specialization of weeds to maize growing conditions. We tested these expectations by using the modern RLQ-analysis. Field and weed data were obtained from a germanwide weed monitoring in maize in 2017 and 2018 and trait data (life form, life history, L-H-S strategy, phenology, division and weeds possibility to develop herbicide resistance) from various datasets. The results showed that traits linked with competitive weed species, such as Therophytes, weed species with a high affinity to soil nutrients, large leaf area, plant height and seed weight were independent from the tested management factors. Management factors, however, can enhance the selection of weed traits. Thus, competitive traits are more associated to reduced than to conventional tillage. A specialization of weed species was related to continuous maize.

Keywords: Maize, RLQ-analysis, weed traits

Einleitung

Mais ist die zweitwichtigste Kulturpflanze in Deutschland. Neben Körnermais wird Mais vorrangig in Form von Silomais angebaut. Silomais wird als Viehfutter oder vermehrt als Hauptsubstrat zur Energiegewinnung in Biogasanlagen genutzt. Durch den vermehrten Bedarf von Silomais stieg deren Anbaufläche (DESTATIS, 2019). Mais wird als Teil in einer Sequenz von Feldfrüchten oder in Selbstfolge angebaut (STEIN und STEINMANN, 2018). Zur Bodenbearbeitung vor der Aussaat wird entweder die traditionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug oder die moderneren Methoden der nicht-wendenden Bodenbearbeitung, z. B. Direktsaat, genutzt. Unkräuter konkurrieren mit dem Mais und führen zu Ertragsverlusten (SWANTON et al., 1999). Konkurrenzstarke Unkräuter haben laut BOURGEOIS et al. (2019) folgende Eigenschaften: sie gehören zu den Therophyten, haben eine Affinität zu nährstoffreichen Böden, eine große Blattfläche und eine lange Blühzeit. Die Auswirkungen des Managements auf die Eigenschaften der Unkrautarten im Mais sind jedoch bisher nicht untersucht.

Entsprechend ihrer Eigenschaften sind Unkrautarten entweder positiv oder negativ mit dem Management im Feld assoziiert (FRIED et al., 2012). Die wendende Bodenbearbeitung vor der Aussaat selektiert relativ hochwachsende Unkrautarten mit schweren Samen und einer Affinität zu nährstoffreichen Böden (ARMENGOT et al., 2016). Therophyten und perennierende Arten werden nicht eindeutig positiv oder negativ mit der wendenden Bodenbearbeitung assoziiert (LEMIEUX et al., 1993). Nicht-wendende Bodenbearbeitung, hingegen, fördert Arten mit kleinen Samen, einer hohen Reproduktionsrate und mit geringerer Affinität zu nährstoffreichen Böden (ARMENGOT et al., 2016). Der Anbau von Kulturpflanzen in Folge oder in Rotation filtert Eigenschaften der Unkrautartenzusammensetzung im Feld. Dies sind Lebensform und Phänologie der Pflanze (GUNTON et al., 2011; FRIED et al., 2012). In Sommerkulturen wachsen vorrangig sommer-annuelle Unkräuter mit kleinen Samen und langer Blühdauer und in Winterkulturen winter-annuelle Arten mit mittlerer Samengröße. Weniger spezialisierte Unkräuter, sogenannte Generalisten, sind auf Feldern mit Rotationen zu finden (FRIED et al., 2010; FRIED et al., 2012).

In dieser Studie wurde der Einfluss der Bodenbearbeitung (wendend vs. nicht-wendend) und die Anbausequenz von Mais (Selbstfolge vs. Rotation) auf die Eigenschaften der Unkrautarten untersucht. Es wird angenommen, dass Unkräuter im Mais durch das Management im Feld entsprechend ihren Eigenschaften selektiert werden. Dabei ist zu erwarten, dass Unkräuter mit konkurrenzstärkeren Eigenschaften eher durch die wendende als die nicht-wendende Bodenbearbeitung begünstigt werden. Außerdem wird erwartet, dass auf Feldern mit Mais in Selbstfolge eher spezialisierte Unkräuter und auf Feldern mit Mais als Teil einer Rotation eher Generalisten auftreten.

Material und Methoden

Die Datengrundlage zur Analyse stammt aus einem deutschlandweitem Unkrautmonitoring in Mais aus den Jahren 2017 und 2018. Für die Untersuchung wurden insgesamt 345 Betriebe zufällig ausgewählt. Diese Betriebe hatten im Mittel einen Maisanteil von 32 % in der Fruchtfolge mit hauptsächlichlicher Nutzung als Viehfutter und zur Energiegewinnung durch Biogasanlagen. Die Bodenbearbeitung vor der Maisaussaat erfolgte auf mehr als der Hälfte der Betriebe durch wendende Bodenbearbeitung. Der Maisanbau erfolgte in Rotation mit Wintergetreide und Sonderkulturen oder in Selbstfolge.

Datengrundlage Feldmanagement

Aus dem Datensatz des deutschlandweiten Monitoring im Mais wurden 589 Felder für die Analyse genutzt. Von diesen Feldern wurden 326 Felder vor der Maisaussaat gepflügt und auf 272 Feldern in Mulch oder Direktsaat (im weiteren Text als nicht-wendende Bodenbearbeitung bezeichnet) angebaut. Der Maisanbau erfolgte auf 89 Feldern in Selbstfolge von mindestens 2 Jahren und auf 509 Flächen in Rotation mit anderen Kulturpflanzen (Deutsches Weidelgras, Winterraps,

Winterweizen, Mais, Winterroggen, Wintergerste, Triticale, Zuckerrüben, Hafer, Grünroggen, Zwiebeln, Grünkohl, Chicoree, Salat).

Datengrundlage Unkrautarten

In jedem Maisfeld, wurden die Unkrautarten und deren Häufigkeit in einem 100 m² großen Spitzfenster in zehnfacher Wiederholung auf 0,1 m² bonitiert. Die Bonitur fand zwischen dem 4- bis 8-Blatt-Stadium des Maises statt.

Datengrundlage Unkrauteigenschaften

Den 87 erfassten Unkrautarten wurden insgesamt 20 Pflanzeigenschaften zugeordnet (Tab. 1). Daten zu den Eigenschaften der Raunkiaer Lebensformen (Therophyten, Hemikryptophyten, Geophyten), Lebenszyklus (annuell oder perenn), Leaf-Height-Seed (L-H-S) Strategien (Spezifische Blattgröße, Pflanzenhöhe, Samengewicht) und Phenology (Blühbeginn und Blühdauer) stammen aus dem Datensatz von BARBERI et al. (2018). Weiterhin wurden dem Datensatz, klassische Verwandtschaftsgruppen der Unkräuter, Monokotyledonen und Dikotyledonen und deren Neigung zur Entwicklung einer Herbizidresistenz in Deutschland hinzugefügt (HEAP, 2019).

Datenanalyse

Der Zusammenhang zwischen Unkrauteigenschaften und Feldmanagement (Wendend vs. Nicht wendend und Maisanbau in Rotation vs. Selbstfolge), wurde mittels der RLQ-Analyse untersucht (DOLEDEC et al., 1996). Grundlage dieser Analyse sind drei Tabellen. Die R-Tabelle, enthält das Management je Feld, die L-Tabelle beinhaltet die Dichte der jeweiligen Unkrautart je Feld und die Q-Tabelle, die Eigenschaften je Unkrautart. Bei der RLQ-Analyse wird zunächst jede dieser drei Tabellen getrennt mit einer Ordinationsmethode analysiert. Auf die R-Tabelle wurde eine Korrespondenzanalyse und aufgrund kategorialer und quantitativer Daten wurde in der L- und Q-Tabelle eine Hill-Smith-Ordination, angewandt (HILL und SMITH, 1976). Im Anschluss wird die maximale Co-Varianz zwischen R und Q ermittelt und mit L (Unkrautmatrix) gewichtet. Die Signifikanz der RLQ-Analyse wurde anschließend mittels einer Monte-Carlo Permutation (n=999) getestet (DREY und LEGENDRE, 2008). Für alle Analysen wurden das Statistik Programm R (R CORE TEAM, 2014) und das darin enthaltende Packet ade4 (DREY und DUFOUR, 2007) verwendet.

Ergebnisse

In Mais dominieren Unkrautarten mit therophytischer Lebensform. Dikotyle Arten treten am häufigsten auf. Unkrautarten im Mais haben zumeist einen annuellen Lebenszyklus und bevorzugen nährstoffreiche Böden. Für die meisten der in Mais vorkommenden Arten ist keine Neigung zur Herbizidresistenz bekannt (Tab. 1).

Die ersten beiden Achsen der RLQ-Analyse beschreiben 97 % (62 % Achse 1 und 34 % Achse 2) der Gesamtvarianz. Das Ergebnis des Monte-Carlo Signifikanztest zeigte keine signifikanten Ergebnisse (*P*-Wert = 0,39) zwischen Management und Unkrauteigenschaften. Auf der ersten Ordinationsachse wird klar zwischen dem Maisanbau in Rotation und Maisfolge unterschieden (Abb. 1). Maisanbau in Rotation ist positiv mit Arten assoziiert, die N-arme Böden oder verschiedene Nährstoffkonzentrationen im Boden bevorzugen. Weiterhin laden geophytische Unkräuter positiv auf dem Maisanbau in Rotation. Zu den Geophyten der bonitierten Arten im Mais gehören *Alopecurus geniculatus*, *Calystegia sepium* (L.) R. Br, *Cirsium arvense* (L.) Scop, *Equisetum arvense* L.. Die zweite Ordinationsachse unterscheidet zwischen der wendenden und nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Der nicht-wendenden Bodenbearbeitung sind Unkräuter mit einer Affinität zu Böden mit guter bis überhöhter Nährstoffversorgung zugeordnet. Perennierende und monokotyle Arten sind mit dem Maisanbau bei wendender Bodenbearbeitung, die eher in Selbstfolge steht, assoziiert. Unkrautarten bei denen bisher keine Herbizidresistenz registriert ist, laden etwas stärker im Maisanbau in Rotation und bei wendender Bodenbearbeitung auf. Arten mit bekannter

Herbizidresistenz werden eher der Maisselbstfolge und der nicht-wendenden Bodenbearbeitung zugeordnet.

Tab. 1 Liste der untersuchten Kategorien und dazugehörigen Pflanzeigenschaften (n = 20), Abkürzung, Anzahl der Unkrautarten (n=87) bei kategorialen Variablen (n), Mittelwert bei kontinuierlichen Variablen (\bar{x}).

Tab. 1 List of categories, traits, their belonging, abbreviation, number of plants per trait (n) and mean value (\bar{x}).

Kategorien	Eigenschaften	Abkürzung	n
Raunkiaer Lebensform	Therophyten	RLF.1	66
	Hemikryptophyten	RLF.2	15
	Geophyten	RLF.3	6
Gruppe	Dikotyledonen	DIV.1	71
	Monokotyledonen	DIV.2	16
Lebenszyklus	Annuell	LSR.1	69
	Perenn	LSR.2	18
L-H-S	Spezifische Blattgröße [$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$]	SLA	27
	Pflanzenhöhe [m]	PLH	0,71
	Samengewicht [g]	SWT	4,33
Phänologie	Blühbeginn [Monat]	BFF	5
	Blühdauer [Monat]	DFF	4,55
Affinität zu	Wenig N, P	SNC.1	6
Nährstoffkonzentration im Boden	N-arm	SNC.2	12
	Gute Nährstoffkonz.	SNC.3	22
	Hohe Nährstoffkonz.	SNC.4	34
	Überhöhte Nährstoffkonz.	SNC.5	3
	Verschiedene	SNC.6	10
	Nicht bekannt	HR.0	71
Herbizidresistenz	Bekannt	HR.1	16

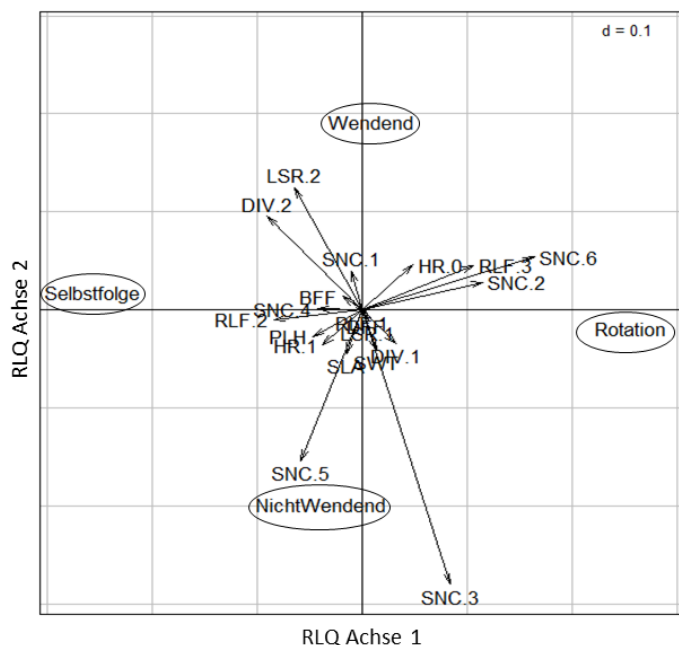


Abb. 1 Biplot der RLQ-Analyse von Unkrauteigenschaften und Managementfaktoren (Wendend vs. Nichtwendend und Selbstfolge vs. Rotation).

Fig. 1 Biplot representing trait and management data of the RLQ-analysis.

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass im Mais verstärkt konkurrenzstarke Unkräuter vorkommen. Sie gehören vorzugsweise zu den Therophyten mit einem annuellen Lebenszyklus. Sie bevorzugen nährstoffreiche Standorte, haben eine hohe Pflanzenhöhe, große spezifische Blattfläche und ein schweres Samengewicht. Die Ergebnisse zur Pflanzenhöhe, spezifische Blattfläche und Samengewicht sind vergleichbar mit Unkräutern im Mais in Frankreich (FRIED et al., 2012). Unkrautbestände mit diesen Eigenschaften gruppieren sich nach der Art der Bodenbearbeitung und Sequenz der Feldfrüchte, auch wenn die Einflüsse nicht signifikant sind. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch Tendenzen, dass Eigenschaften wie die Affinität zu Nährstoffen im Boden, Raunkiear Lebensformen, Lebenszyklus und der Neigung eine Herbizidresistenz zu entwickeln, unterschiedlich mit den Managementfaktoren assoziiert sind.

Merkmale, die für eine Affinität zu Nährstoffe stehen, verteilen sich unterschiedlich. Unkrautarten, die sich an unterschiedliche Anforderungen im Feld anpassen können, ordnet FRIED et al. (2010) als Generalisten ein. Die große Gruppe dieser Arten mit Vorliebe für mittlere bis hohe Nährstoffkonzentration (Tab. 1) stehen auch bei uns im Zentrum der Ordination. Die wenigen Arten, die eine hohe Affinität zu Nährstoffen im Boden haben, sind mit der nicht-wendenden Bodenbearbeitung assoziiert. Maisanbau mit nicht-wendender Bodenbearbeitung ist kein Bearbeitungsverfahren mit einer langen Tradition. Bei einem Wechsel der Bodenbearbeitung von wendend zu nicht-wendend, entsteht eine höhere Konzentration von organischem Material (OORTS et al., 2007), das für die Mineralisation unter Mais zur Verfügung steht. In Kombination mit den im Mais jährlich ausgebrachten organischen oder mineralischen Düngern, kann dies zu sehr hohen Nährstoffkonzentrationen im Boden führen. Das Vorkommen von Unkrautarten mit einer hohen Affinität zu nährstoffreichen Bedingungen kann also eine Folge der Kombination vom Wechsel der Bodenbearbeitung und einer nicht daran angepassten Düngung sein.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass Geophyten im Zusammenhang mit dem Maisanbau in Rotation stehen. Geophyten sprossen vegetativ aus unterirdischen Überdauerungsorganen, diese Etablierungsart ist hier bedeutender als das Auflaufen aus Samen. Sie reagieren weniger auf die Periodizität, die beim Anbau unterschiedlicher Feldfrüchten entsteht und die Landwirte nutzen, um mit Fruchtfolgegestaltung steigenden Dichten von Samenunkräutern vorzubeugen. Wurzelunkräuter werden eher durch dichte, konkurrenzstarke Feldfruchtbestände reduziert (DAU und GEROWITT, 2004, SALONEN et al., 2013, KOLBERG et al., 2018). Mais als konkurrenzschwache Reihenkultur unterdrückt diese Arten kaum – unabhängig davon, welche Feldfrucht vorher in der Fruchtfolge gestanden hat. Die vorherrschenden Bedingungen während einer Bodenbearbeitung sind entscheidend dafür, ob Geophyten durch Verteilung der Fortpflanzungsorgane gefördert oder durch Austrocknen der Fortpflanzungsorgane verringert werden (LEMIEUX et al., 1993).

Monokotyle laden auf dem Anbau von Mais mit wendender Bodenbearbeitung, der eher in Selbstfolge steht. Hirsen, die in unserem Datensatz sehr häufig sind, spielen mengenmäßig unter den 13 monokotylen Arten eine große Rolle (PANNWITT et al., 2018). Noch enger sind perennierende Arten mit wendender Bodenbearbeitung assoziiert. Zusätzlich zu den Geophyten sind viele Hemikryptophyten den perennierenden Arten zugeordnet. TRICHARD et al. (2013) und ARMENGOT et al. (2016) beschreiben dagegen die Selektion von perennierenden Arten in vollständigen und langfristigen Systemen mit nicht-wendender Bodenbearbeitung. Wird die nicht-wendende Bodenbearbeitung wie in unserer Studie eher kurzfristig betrachtet, stellt sich dieser Effekt nicht oder noch nicht ein.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass das Auftreten von Unkrautarten, die bekannt dafür sind, dass sie Herbizidresistenz entwickeln können, durch den Anbau von Mais in Selbstfolge und nicht-wendender Bodenbearbeitung begünstigt werden. Der Anbau im Wechsel mit anderen Kulturpflanzen und wendende Bodenbearbeitung ist dagegen mit Arten ohne Herbizidresistenz assoziiert. Der Anbau von Mais in Selbstfolge führte auch bei FRIED et al. (2010) zu einer Anpassung der Unkrautartenzusammensetzung an die Anbaubedingungen.

Für den Anbau von Mais bedeuten unsere Ergebnisse, dass konkurrenzstarke Unkräuter unabhängig vom getesteten Management auftreten. Jedoch tragen einzelne Managementfaktoren zu einer zusätzlichen Gruppierung von Unkrauteigenschaften bei. Ausgehend von Unkrauteigenschaften wie die Neigung eine Herbizidresistenz zu entwickeln, Affinität zu nährstoffreichen Böden, Therophyten, Blattflächengröße und Blühzeit (BOURGEOIS et al., 2019) zeigt sich, dass konkurrenzstarke Unkräuter mit der nicht-wendenden Bodenbearbeitung und Selbstfolge assoziiert sind. Bei der wendenden Bodenbearbeitung und Maisanbau in Rotation dagegen, treten weniger konkurrenzstarke Unkrautarten auf.

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen, die bei der Erfassung der Daten mitgeholfen haben. Das Projekt wird gefördert durch die Syngenta-Agro.

Literatur

- ARMENGOT, L., J.M. BLANCO-MORENO, P. BARBERI, G. BOCCI, S. CARLES, R. AENDEKERK, A. BERNER, F. CELETTE, M. GROSSE, H. HUITING, A. KRANZLER, A. LUIK, P. MÄDER, J. PEIGNE, E. STOLL, P. DELFOSSE, W. SUKKE, A. SURBÖCK, S. WESTAWAY, F.X. SANS, 2016: Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **222**, 276-285.
- BARBERI, P., G. BOCCI, S. CARLES, L. ARMENGOT, J.M. BLANCO-MORENO, F.X. SANS, 2018: Linking species traits to agroecosystem services: a functional analysis of weed communities. *Weed Research* **58**, 76-88.
- BOURGEOIS, B., F. MUNOZ, G. FRIED, L. MAHAUT, L. ARMENGOT, P. DENELLE, J. STORKEY, S. GABA, C. VIOLLE, 2019: What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. *American Journal of Botany* **106**, 90-100.
- DAU, A., B. GEROWITT, 2004. Cultural control of *Cirsium arvense* in a cereal-based crop rotation. *Journal of Plant Diseases and Protection. Special Issue XIX*, 475-481.
- DESTATIS, 2017: Feldfrüchte und Grünland. verfügbar unter: www.destatis.de (zuletzt geprüft: 13.10.2019).
- DOLEDEC, S., D. CHESSEL, C.J.F. TER BRAAK, 1996: Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics* **3**, 143-166.
- DRAY, S., A. DUFOUR, 2007: The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* **22**, 1-20.
- DRAY, S., P. LEGENDRE, 2008: Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology* **89**, 3400-3412.
- FRIED, G., S. PETIT, X. REBOUD, 2010: A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC Ecology* **10**, 20.
- FRIED, G., E. KAZAKOU, S. GABA, 2012: Trajectories of weed communities explained by traits associated with species response to management practices. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **158**, 147-155.
- GUNTON, R.F., S. PETIT, S. GABA, 2011: Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. *Journal of Vegetation Science* **22**, 541-550.
- HEAP, I 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. verfügbar unter: www.weedscience.org (zuletzt geprüft: 10.10.2019).
- WEEDSCIENCE, 2019: <http://www.weedscience.org/SUMMARY/COUNTRY.ASPX?COUNTRYID=18>.
- HILL, M., A. SMITH, 1976: Principle component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. *Taxon*. **25**, 249-255.
- KOLBERG, D., L.O. BRANDSÆTER, G. BERGKVIST, K.A. SOLHAUG, B. MELANDER, B. RINGSSELLE, 2018: Effect of Rhizome Fragmentation, Clover Competition, Shoot-Cutting Frequency, and Cutting Height on Quackgrass (*Elymus repens*). *Weed Science* **66**, 215-225.
- LEMIEUX, C., D.C. CLOUTIER, G.D. LEROUX, 1993: Distribution and survival of quackgrass (*Elytriga repens*) rhizome buds. *Weed Science* **41**, 600-606.
- OORTS, K., H. BOSSUYT, J. LABREUCHE, R. MERCKX, N. NICOLARDOT, 2007: Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. *European Journal of Soil Science* **58**, 248-259.
- PANNWITT, H., C. KRATO, B. GEROWITT, 2018: Unkraut-Monitoring 2.0 – Erste Ergebnisse zur aktuellen Unkrautvegetation im Mais. *Julius-Kühn-Archiv* **458**, 24-29.
- R CORE TEAM, 2014: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Wien, Österreich. www.R-project.org.
- SALONEN, J., T. HYVÖNEN, J. KASEVA, H. JALLI, 2013: Impact of changed cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland - a comparison of surveys in 1997-1999 and 2007-2009. *Weed Research* **53**, 110-120.
- STEIN, S., H.H. STEINMANN, 2018: Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. *European Journal of Agronomy* **92**, 30-40.
- SWANTON, C.J., S. WEAVER, P. COWAN, R. VAN ACKER, W. DEEN, A. SHRESHTA, 1999: Weed thresholds: Theory and Applicability. *Journal of Crop Production* **2**, 9-29.
- TRICHARD A., A. ALIGNIER, B. CHAUVEL, S. PETIT, 2013: Identification of weed community traits to conservation agriculture. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **179**, 179-186.